



LAPORAN TUGAS AKHIR

**AUDIT ENERGI DAN ANALISIS PELUANG
PENGHEMATAN KONSUMSI ENERGI PADA
POMPA SENTRIFUGAL BAGIAN DISTRIBUSI DI
PDAM KUDUS**

**MOH UMAR SYAIFUDIN
NIM. 201454090**

DOSEN PEMBIMBING

**Rianto Wibowo, S.T., M.Eng.
Bachtiar Setya Nugraha, S.T., M.T.**

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MURIA KUDUS

2018

HALAMAN PERSETUJUAN

AUDIT ENERGI DAN ANALISIS PELUANG PENGHEMATAN KONSUMSI ENERGI PADA POMPA SENTRIFUGAL BAGIAN DISTRIBUSI DI PDAM KUDUS

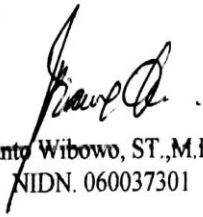
MOH UMAR SYAIFUDIN

NIM. 201454090

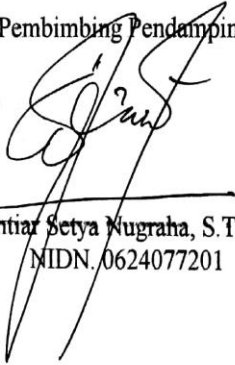
Kudus, 15 Agustus 2018

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Rianto Wibowo, ST., M.Eng
NIDN. 060037301

Pembimbing Pendamping,


Bachtiar Setya Nugraha, S.T., M.T
NIDN. 0624077201

Mengetahui

Koordinator Skripsi/Tugas Akhir


Qomaruddin, ST., MT
NIDN. 0626097102

HALAMAN PENGESAHAN

AUDIT ENERGI DAN ANALISIS PELUANG PENGHEMATAN KONSUMSI ENERGI PADA POMPA SENTRIFUGAL BAGIAN DISTRIBUSI DI PDAM KUDUS

MOH UMAR SYAIFUDIN

NIM. 201454090

Kudus, 15 Agustus 2018

Menyetujui,

Ketua Penguji,



Rochmad Winarso, ST.,MT
NIDN. 0612037201

Anggota Penguji I,



Qomaruddin, ST.,MT
NIDN. 0626097102

Anggota Penguji II,



Rianto Wibowo, ST.,M.Eng
NIDN. 060037301

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik



Moch. Bahlam, ST.,MT
NIDN. 0601076701

Ka. Progdil Teknik Mesin



Rianto Wibowo, ST.,M.Eng
NIDN. 060037301

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Moh Umar Syaifudin
NIM : 201454090
Tempat & Tanggal Lahir : Demak, 27 September 1994
Judul Skripsi/Tugas Akhir* : Audit Energi dan Analisis Peluang Penghematan
Konsumsi Energi pada Pompa Sentrifugal Bagian
Distribusi di PDAM Kudus

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Skripsi/Tugas Akhir* ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan lain yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Seluruh ide, pendapat, atau materi dari sumber lain telah dikutip dalam Skripsi dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muria Kudus.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Kudus, 15 Agustus 2018

Yang memberi pernyataan,



Moh Umar Syaifudin
NIM. 201454090

AUDIT ENERGI DAN ANALISIS PELUANG PENGHEMATAN KONSUMSI ENERGI PADA POMPA SENTRIFUGAL BAGIAN DISTRIBUSI DI PDAM KUDUS

Nama mahasiswa : Moh Umar Syaifudin

NIM : 201454090

Pembimbing :

1. Rianto Wibowo, ST.,M.Eng
2. Bachtiar Setya Nugraha, S.T., M.T

RINGKASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya efisiensi dan *specific energy consumption* (SEC), serta peluang penghematan konsumsi energi pada pompa sentrifugal bagian distribusi di PDAM Kudus. Audit energi dilakukan dalam dua tahap yaitu audit energi awal dan audit energi rinci. Kegiatan pada audit energi awal meliputi pengumpulan data-data berupa rekening listrik bulanan, produksi air bulanan, diagram instalasi perpipaan dan kelistrikan, spesifikasi teknis pompa, dan spesifikasi teknis motor. Sedangkan kegiatan pada audit energi rinci meliputi pengukuran arus, tegangan, head, debit, dan tekanan pompa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai efisiensi motor yaitu 87%, serta nilai efisiensi pompa yaitu 82% dan nilai efisiensi pompa total 72%. Nilai tersebut termasuk kedalam kategori $\geq 60\%$ yang artinya pompa masih baik dan tidak perlu tindakan apapun untuk menaikkan efisiensi. Nilai SEC pada pompa sentrifugal berada antara $0,161 \text{ kWh/m}^3$ - $0,183 \text{ kWh/m}^3$, nilai ini menurut standar SEC oleh produsen pompa sentrifugal (grundfos) termasuk kedalam kategori sangat efisien. Untuk peluang penghematan konsumsi energi pompa sentrifugal dilakukan dengan memperbaiki faktor daya ($\cos \phi$) dari 0,86 menjadi 0,90. Rekomendasi untuk memperbaiki faktor daya ($\cos \phi$) dari 0,86 menjadi 0,90 dilakukan pemasangan kapasitor sebesar 0,52 kVAr ($11,61 \mu\text{F}$), cara ini dapat mengurangi pemakaian daya reaktif dari 2,83 kVAr menjadi 2,31 kVAr.

Kata kunci : audit energi, pompa sentrifugal, konsumsi energi spesifik, efisiensi, peluang penghematan energi

ENERGY AUDIT AND ANALYSIS OF OPPORTUNITIES FOR SAVING ENERGY CONSUMPTION IN CENTRIFUGAL PUMPS IN THE DISTRIBUTION SECTION OF THE PDAM KUDUS

Student Name : Moh Umar Syaifudin

Student Identity Number : 201454090

Supervisor :

1. Rianto Wibowo, ST.,M.Eng
2. Bachtiar Setya Nugraha, S.T., M.T

ABSTRACT

the purpose of this research is to investigate the value of efficiency and specific energy consumption (SEC), and saving oppurtinities the energy consumption in a centrifugal pump. Energy audits are carried out in two stage: primary energy audit, and detailed energy audits. Activities on energy audits include collecting data in the form of electricity bills, water production, installation diagrams, pump specifications, and motor specifications. While activities in detailed energy audit include measurement of current, voltage, head, rate of flow, and pressure. The research showed that the value of motor efficiency was 87%, and the pump efficiency value is 82%, and the total pump efficiency is 72%. This value belongs to category $\geq 60\%$ where the pump still good and does not need any action to increase efficiency. The value of specific energy consumption of centrifugal pump is between $0,161 \text{ kWh/m}^3$ - $0,183 \text{ kWh/m}^3$, this value according to the centrifugal pump manufactuter (grundfos) is include in the category very efficient. The opportunity to save the energy consumption of centrifugal pump is done by improving the power factor ($\cos \phi$) from 0,86 to 0,9. Recommendations to improve the power factor from 0,86 to 0,9 carried out the installation of a capasitor of 0,52 kVAr (11,61 μF), this method can reduce the use of reactive power from 2,83 kVAr TO 2,31 kVAr.

Keywords : energy audit, centrifugal pump, specific energy consumption, efficiency, energy saving opportunities

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir. Adapun judul tugas akhir ini adalah "Audit Energi dan Analisis Peluang Penghematan Konsumsi Energi pada Pompa Sentrifugal Bagian Distribusi di PDAM Kudus". Penulisan ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana teknik di program studi teknik mesin Universitas Muria Kudus.

Dalam melaksanakan tugas akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, baik dari segi moril maupun materiil. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

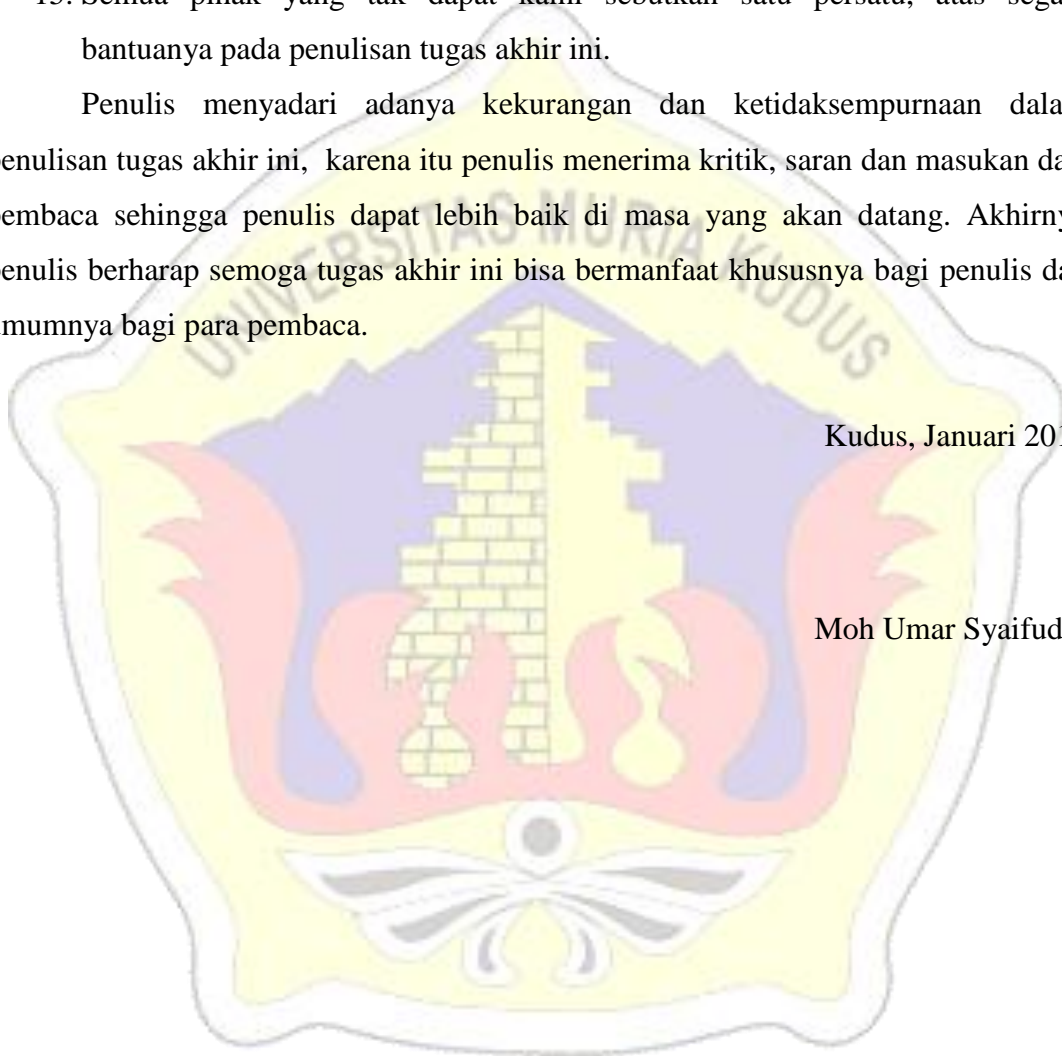
1. Bapak Moch. Dahlan, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus.
2. Bapak Rianto Wibowo, ST., M. Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muria Kudus sekaligus dosen pembimbing utama tugas akhir.
3. Bapak Bachtiar Setya Nugraha, S.T., M.T selaku dosen pembimbing pendamping tugas akhir.
4. Bapak Qomaruddin, ST., MT selaku koordinator tugas akhir.
5. Bapak dosen tim penguji tugas akhir.
6. Bapak dosen Program Studi Teknik Mesin Universitas Muria Kudus.
7. Bapak Cipto selaku kepala bagian produksi di PDAM Kudus.
8. Mas Rochim yang selama ini memberi informasi dan data penelitian sekaligus mendampingi selama penelitian di PDAM Kudus.
9. Mas Berito, Mas Hamid, Mas Faris yang selama ini memberi bantuan selama penelitian di PDAM Kudus.
10. Kedua orang tuaku atas segala doa, nasehat, kepercayaan, dan motivasi yang telah diberikan.
11. Kakakku "Ali, Nur, dan Fitri" yang selama ini memberi semangat dan dorongan.

12. Spesial buat tim audit energi "Bos Burhan" saya berharap persaudaraan ini tidak berakhir sampai disini.
13. Spesial buat sahabatku "Boy Rohmad" yang selama ini memberi dukungan.
14. Mahasiswa teknik mesin Universitas Muria Kudus, khususnya angkatan 2014. Tetap kompak dan "solidarity m forever".
15. Semua pihak yang tak dapat kami sebutkan satu persatu, atas segala bantuannya pada penulisan tugas akhir ini.

Penulis menyadari adanya kekurangan dan ketidaksempurnaan dalam penulisan tugas akhir ini, karena itu penulis menerima kritik, saran dan masukan dari pembaca sehingga penulis dapat lebih baik di masa yang akan datang. Akhirnya penulis berharap semoga tugas akhir ini bisa bermanfaat khususnya bagi penulis dan umumnya bagi para pembaca.

Kudus, Januari 2014

Moh Umar Syaifudin



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
RINGKASAN	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xvi
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Audit Energi	5
2.1.1 Jenis Audit Energi	6
2.1.2 Target dan Sasaran Audit Energi	8
2.1.3 Pengumpulan Data Audit Energi	12
2.1.4 Analisa Data Audit Energi	13
2.2 Beban Listrik	14
2.3 Daya Listrik	16
2.4 Faktor Daya	18
2.5 Gambaran Umum Penggunaan Energi di PDAM	19
2.6 Motor Listrik	21
2.7 Mekanisme Kerja Motor Listrik	21
2.8 Jenis Motor Listrik	22
2.8.1 Motor Arus Searah	22
2.8.2 Motor Arus Bolak-Balik	22
2.9 Prinsip Kerja Motor Induksi	25
2.10 Efisiensi Motor Induksi	26
2.11 Pompa Sentrifugal	28
2.11.1 Klasifikasi Pompa	30
2.11.2 Prinsip Kerja Pompa Sentrifugal	32
2.11.3 Komponen-Komponen Pompa Sentrifugal	33

2.11.4 Sifat Aliran Fluida dalam Pipa	34
2.11.5 Head Instalasi Pompa	35
2.11.6 Efisiensi Pompa Sentrifugal	38
2.12 Sistem Pemipaan	39
2.12.1 Jenis-Jenis Pipa	40
2.13 Komponen Sistem Pemipaan	40
2.13.1 Pipa.....	41
2.13.2 Flange.....	41
2.13.3 Katup	42
2.13.4 Sambungan	43

BAB III METODOLOGI

3.1 Metodologi Penelitian	45
3.2 Persiapan dan Perencanaan	46
3.2.1 Waktu dan Tempat	46
3.2.2 Peralatan Penelitian	46
3.2.3 Bahan Penelitian.....	46
3.3 Metode Pengambilan Data	47
3.4 Pengukuran Lapangan	48
3.4.1 Pengukuran Arus Motor	48
3.4.2 Pengukuran Tegangan Motor	48
3.4.3 Pengukuran Head Statis Pompa	49
3.4.4 Pengukuran Debit Pompa.....	50
3.4.5 Pengukuran Tekanan Pompa	51
3.5 Proses Perhitungan	51
3.5.1 Efisiensi Motor	51
3.5.2 Efisiensi Pompa Individual	52
3.5.3 Efisiensi Pompa Total	52
3.5.4 Konsumsi Energi Spesifik	53

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Lapangan.....	55
4.1.1 Pengukuran Motor Listrik	55
4.1.2 Pengukuran Pompa.....	56
4.2 Perhitungan.....	57
4.2.1 Efisiensi Motor	57
4.2.2 Efisiensi Pompa Individual	57
4.2.3 Efisiensi Pompa Total	61
4.2.4 Konsumsi Energi Spesifik	61
4.3 Analisa Kualitas Daya Listrik	63
4.4 Analisa Sumber Energi Listrik	65
4.5 Analisa Konsumsi Energi Spesifik.....	66
4.6 Analisa Efisiensi Pompa dan Motor	67
4.7 Analisa Peluang Penghematan Energi	68
4.7.1 Perbaikan Kualitas Daya Listrik	68

4.7.2 Perbaikan Sumber Energi Listrik	70
4.8 Rekomendasi Peluang Penghematan Energi	71

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran.....	73

DAFTAR PUSTAKA	74
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN	75
-----------------------	-----------

BIODATA PENULIS.....	79
-----------------------------	-----------



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Beban induktif	15
Gambar 2.2	Beban kapasitif	16
Gambar 2.3	Segitiga daya	18
Gambar 2.4	Gelombang sinus pada faktor daya <i>lagging</i>	19
Gambar 2.5	Gelombang sinus pada faktor daya <i>leading</i>	19
Gambar 2.6	Konsumsi energi di PDAM	20
Gambar 2.7	Diagram instalasi pompa	20
Gambar 2.8	Motor DC.....	22
Gambar 2.9	(a) Rotor sangkar (b) Rotor belitan	25
Gambar 2.10	Gelombang sinusoidal tiga fasa.....	25
Gambar 2.11	Grafik <i>torque speed</i> motor induksi tiga fasa	26
Gambar 2.12	Pompa sentrifugal.....	29
Gambar 2.13	Pompa aliran radial.....	30
Gambar 2.14	Pompa aliran aksial.....	30
Gambar 2.15	Pompa aliran campuran	31
Gambar 2.16	Pompa volut.....	31
Gambar 2.17	Pompa diffuser.....	32
Gambar 2.18	(a) <i>Suction lift</i> (b) <i>Suction head</i>	36
Gambar 2.19	<i>Flange</i>	42
Gambar 2.20	<i>Fitting</i>	44
Gambar 3.1	Diagram aliran penelitian	45
Gambar 3.2	(a) Tang ampere (b) <i>Water meter</i> (c) Manometer	46
Gambar 3.3.	<i>Suction lift</i>	50
Gambar 4.1	Segitiga daya motor	65
Gambar 4.2	Diagram SEC pompa sentrifugal.....	67
Gambar 4.3	Perbaikan faktor daya	70
Gambar 4.4	Diagram daya motor delta	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Level kedalaman audit energi	8
Tabel 2.2	Tabel efisiensi motor induksi 3 phasa.....	27
Tabel 3.1	Spesifikasi motor listrik	47
Tabel 3.2	Spesifikasi pompa	47
Tabel 4.1	Pengukuran motor listrik	55
Tabel 4.2	Pengukuran pompa	56
Tabel 4.3	Produksi air bulanan	56
Tabel 4.4	Perhitungan <i>head loss</i> pipa buang	59
Tabel 4.5	Perhitungan <i>head loss</i> pipa isap.....	59
Tabel 4.6	Konsumsi energi pompa	62
Tabel 4.7	Kualitas arus motor	64
Tabel 4.8	Kualitas tegangan motor	64
Tabel 4.9	Nilai standar SEC berdasarkan produsen pompa (grundfos).....	66
Tabel 4.10	Nilai SEC pada pompa sentrifugal.....	66
Tabel 4.11	Tindakan pada penurunan efisiensi.....	68
Tabel 4.12	Nilai efisiensi	68
Tabel 4.13	Faktor daya	69

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan	Nomor Persamaan
P	Daya nyata	kW	2,3,9,23,32,47
Q	Daya reaktif	kVAr	4,5,50
S	Daya semu	kVA	6,7,8,51
LF	Faktor beban	Desimal	10,28,35
η_m	Efisiensi motor	%	11,29,36
R_e	Bilangan reynold	-	12,39
H	Head	m	13,40,44
h_a	Head statis	m	14,15,26
Δh_p	Head tekanan	m	16
hl	Head loss	m	17,20,42,43
f	Koefisien gesek	-	18,19,41
η_p	Efisiensi pompa	%	21,30,48
P_h	Daya hidrolis	kW	22,31,46
η_t	Efisiensi total	%	24,25,33,39
Q	Debit	m ³ /s	27
A	Luas Penampang	m ²	37
V	Kecepatan Aliran	m/s	38
$\cos \phi$	Faktor Daya	Desimal	45
X_c	Tahanan Kapasitif	Ω	54
C	Kapasitas Kapasitor	μF	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data konsumsi listrik bulanan	75
Lampiran 2	Dokumentasi pengukuran arus	76
Lampiran 3	Dokumentasi pengukuran tegangan	77
Lampiran 4	Dokumentasi pompa.....	78
Lampiran 5	Biodata penulis	79
Lampiran 6	Surat izin penelitian.....	80
Lampiran 7	Fotokopi buku bimbingan.....	81



DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

PDAM	:Perusahaan Daerah Air Minum
AET	:Audit Energi Terinci
SEC	: <i>Specific Energy Consumption</i>
BUMN	: Badan Usaha Milik Negara
BUMD	: Badan Usaha Milik Daerah
UU	: Undang-Undang
ECO	: <i>Energy Conservation Opportunity</i>
EEI	: <i>Energy Efficiency Index</i>

